

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

REC'D 15 JUN 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 22 342.8

**Anmeldetag:**

17. Mai 2003

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Anmelder/Inhaber:**

MTU Aero Engines GmbH, 80995 München/DE

**Bezeichnung:**Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen, Fräs-  
werkzeug und Verwendung des Fräswerkzeugs**IPC:**

B 23 C 3/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 4. Mai 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
 Im Auftrag

Klostermeyer

Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen,  
Fräswerkzeug und Verwendung des Fräswerkzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen nach dem Oberbegriff  
5 des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Fräswerkzeug nach dem  
Oberbegriff des Patentanspruchs 10 und die Verwendung des Fräswerkzeugs.

Die hier vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Frästechnik, insbesondere das HSC  
(High Speed Cutting)-Fräsen, welches auch als HPC (High Performance Cutting)-Fräsen  
10 bezeichnet wird.

Für das Fräsen von Freiformflächen werden nach dem Stand der Technik sogenannte  
Kugelfräser eingesetzt. Derartige Kugelfräser verfügen über einen Werkzeugschaft und  
einen sich an den Werkzeugschaft anschließenden Werkzeugkopf, wobei beim Kugelfräser  
15 ein Radius des Werkzeugkopfs einem Radius des Werkzeugschafts entspricht. Der  
Werkzeugkopf steht demnach seitlich nicht über eine äußere Mantelfläche des  
Werkzeugschafts vor.

Zur Minimierung einer sich beim Fräsen einstellenden, unerwünschten Restzeilung ergeben  
20 sich bei Verwendung eines Kugelfräasers Beschränkungen hinsichtlich des einzuhaltenden  
Zeilenabstands zwischen den Fräsbahnen des Fräswerkzeugs. Hierdurch ergibt sich eine  
relativ große Anzahl von erforderlichen Fräsbahnen, wodurch die zum Fräsen benötigte Zeit  
bestimmt wird. Unter dem Gesichtspunkt des High Speed Cutting bzw. High Performance  
Cutting sind jedoch geringe Fräszeiten wünschenswert.

25 Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges  
Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen, ein neuartiges Fräswerkzeug sowie eine  
Verwendung des Fräswerkzeugs vorzuschlagen.

30 Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass das eingangs genannte Verfahren zum Fräsen  
von Freiformflächen durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs  
1 weitergebildet ist.

Ein Werkstück wird von einem Fräswerkzeug derart gefräst, dass sich eine gewünschte Freiformfläche ergibt. Das Fräswerkzeug wird zum Fräsen entlang mindestens einer definierten Fräsbahn relativ zum Werkstück bewegt. Erfindungsgemäß wird ein Fräswerkzeug (sogenannter Sonderfräser) verwendet, dessen Werkzeugkopf einen größeren Radius aufweist als ein Werkzeugschaft des Fräswerkzeugs, ohne dass jedoch der Werkzeugkopf seitlich über eine äußere Mantelfläche des Werkzeugschafts vorsteht. Dies hat den Vorteil, dass sich beim Fräsen eine geringe Restzeilung ergibt. Der Zeilenabstand beim Fräsen kann demzufolge erhöht und die zum Fräsen benötigte Zeit verringert werden.

10

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden unter Verwendung eines Kugelfräsers, dessen Radius des Werkzeugkopfs dem Radius des Werkzeugschafts entspricht, erste Fräsbahnen erzeugt. Aus diesen ersten Fräsbahnen werden zweite Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug, dessen Werkzeugkopf einen größeren Radius aufweist als ein Werkzeugschaft desselben, generiert. Dies erlaubt eine besonders einfache und schnelle Generierung der Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug. Diese vorteilhafte Ausgestaltung kommt dann zum Einsatz, wenn das verwendete CAM-System keine Sonderfräser unterstützt.

15

20

Das erfindungsgemäße Fräswerkzeug ist durch die Merkmale des Patentanspruchs 10 gekennzeichnet. Die erfindungsgemäße Verwendung des Fräswerkzeugs ist in Patentanspruch 13 definiert.

25

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

30

Fig. 1: ein Fräswerkzeug nach dem Stand der Technik in Seitenansicht; und

Fig. 2: ein erfindungsgemäßes Fräswerkzeug in Seitenansicht.

Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die Figuren in größerem Detail erläutert. Bevor jedoch die Details des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie des erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs dargestellt werden, sollen nachfolgend einige Begriffe definiert werden, auf die später Bezug genommen wird.

5

Bei der Fräsbearbeitung eines zu bearbeitenden Werkstücks soll sich an der Oberfläche des Werkstücks eine gewünschte dreidimensionale Geometrie einstellen. Diese gewünschte dreidimensionale Geometrie an der Oberfläche des Werkstücks wird auch als Freiformfläche bezeichnet.

10

Die Fräsbearbeitung des zu bearbeitenden Werkstücks erfolgt mithilfe eines Fräswerkzeugs, einem sogenannten Fräser. Zur Bearbeitung des Werkstücks wird das Fräswerkzeug bzw. der Fräser relativ zum Werkstück bewegt. Die Bewegung des Fräswerkzeugs bzw. Fräsers relativ zum Werkstück wird durch sogenannte Werkzeugkoordinaten beschrieben, wobei die Werkzeugkoordinaten die Position eines Werkzeugbezugspunkts definieren. Die Bewegung des Werkzeugbezugspunkts bei der Fräsbearbeitung des Werkstücks bezeichnet man als Werkzeugbahn bzw. Fräsbahn.

15

20

Das Fräswerkzeug verfügt über einen Werkzeugschaft sowie einen sich an den Werkzeugschaft anschließenden Werkzeugkopf. Der Werkzeugkopf kommt beim Fräsen mit dem zu bearbeitenden Werkstück in Kontakt. Die Eigenschaften eines Fräswerkzeugs werden durch mehrere geometrische Parameter bestimmt, die in der Regel in einem Werkzeugkoordinatensystem angegeben werden. Ein Ursprung dieses Werkzeugkoordinatensystems wird von dem Werkzeugbezugspunkt gebildet, in welchem sich eine Achse bzw. Symmetrieachse des Werkzeugschafts mit einem Ende bzw. einer Spitze des Werkzeugkopfs schneidet. Ausgehend von diesem Ursprung des Werkzeugkoordinatensystems verläuft eine erste Achse desselben in Richtung der Symmetrieachse des Werkzeugschafts. Die übrigen Achsen des Werkzeugkoordinatensystems verlaufen jeweils senkrecht hierzu.

25

30

Bei den Parametern, durch welche die Eigenschaften eines Fräswerkzeugs im Werkzeugkoordinatensystem definiert werden, handelt es sich insbesondere um einen Durchmesser bzw. Radius des Werkzeugschafts, einen Durchmesser bzw. Radius des

Werkzeugkopfs, eine horizontale Koordinate eines Radiusmittelpunkts des Werkzeugkopfs sowie eine vertikale Koordinate des Radiusmittelpunkts des Werkzeugkopfs.

Gegebenenfalls kommen noch Parameter wie Winkel zwischen Liniensegmenten und horizontal bzw. vertikal verlaufenden Achsen des Fräswerkzeugs hinzu., wobei die vertikale Achse in Richtung der Werkzeugachse und die horizontale Achse senkrecht zu dieser Werkzeugachse des Fräswerkzeugs verläuft.

Die Fräsbearbeitung eines Werkstücks zur Ausbildung einer definierten dreidimensionalen Freiformfläche erfolgt mithilfe eines sogenannten Fünf-Achsfräsens. Beim Fünf-Achsfräsen kann das Fräswerkzeug in fünf Achsen relativ zum zu bearbeitenden Werkstück bewegt werden. Drei Achsen dienen der linearen Relativbewegung des Fräswerkzeugs relativ zum Werkstück, so dass jeder Punkt im Raum angefahren werden kann. Zusätzlich zu dieser linearen Bewegung entlang der sogenannten Linearachsen ist das Fräswerkzeug zur Realisierung von Hinterschneidungen auch um eine Schwenkachse sowie eine Kippachse bewegbar. Entlang der Schwenkachse sowie der Kippachse werden rotatorische Bewegungen des Fräswerkzeugs ermöglicht. Hierdurch ist es möglich, dass alle Punkte im Raum ohne Kollision angefahren werden können. Die Schwenkachse sowie die Kippachse werden häufig auch allgemein mit dem Begriff Rundachsen bezeichnet.

Fig. 1 zeigt ein Fräswerkzeug 10, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist und wie es nach dem Stand der Technik zum Fräsen von Freiformflächen an Werkstücken verwendet wird.

Das Fräswerkzeug 10 gemäß Fig. 1 verfügt über einen Werkzeugschaft 11 sowie einen sich an den Werkzeugschaft 11 anschließenden Werkzeugkopf 12. Der Werkzeugschaft 11 verfügt über einen Durchmesser  $d_s$  sowie einen Radius  $r_s$ , wobei gilt:  $r_s = d_s/2$ . Der Werkzeugkopf 12 verfügt über einen Radius  $r_k$ , wobei beim Fräswerkzeug gemäß Fig. 1 der Radius  $r_k$  des Werkzeugkopfs 12 dem Radius  $r_s$  des Werkzeugschafts 11 entspricht. Demzufolge gilt für das Fräswerkzeug 10 der Fig. 1:  $r_k = r_s = d_s/2$ . Ein solches Fräswerkzeug bezeichnet man auch als Kugelfräser. Wie Fig. 1 entnommen werden kann, steht der Werkzeugkopf 12 seitlich nicht über eine äußere Mantelfläche des Werkzeugschafts 11 vor.



Weiterhin zeigt Fig. 1 eine Achse 13 des Werkzeugschafts 11. Die Achse 13 des Werkzeugschafts 11 schneidet ein Ende bzw. eine Spitze des Werkzeugkopfs 12 in einem Punkt 14, wobei der Punkt 14 einen Ursprung für ein Werkzeugkoordinatensystem bildet.

5 Fig. 2 zeigt ein erfindungsgemäßes Fräswerkzeug 15. Das erfindungsgemäße Fräswerkzeug 15 verfügt wiederum über einen Werkzeugschaft 16 und über einen sich an den Werkzeugschaft 16 anschließenden Werkzeugkopf 17. Weiterhin zeigt Fig. 2 wiederum eine Achse 18 bzw. Symmetrieachse des Werkzeugschafts 16 sowie einen Punkt 19, in welchem die Symmetrieachse 18 des Werkzeugschafts 16 ein Ende bzw. eine Spitze des  
10 Werkzeugkopfs 17 schneidet.

Es liegt nun im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, dass ein Radius  $R_K$  des Werkzeugkopfs 17 größer ist als ein Radius  $R_S$  des Werkzeugschafts 16. Es gilt demnach:  $R_K > R_S$ . Auch beim erfindungsgemäßen Fräswerkzeug 15 steht der Werkzeugkopf 17  
15 seitlich nicht über eine äußere Mantelfläche des Werkzeugschafts 16 vor.

Wie Fig. 2 entnommen werden kann, ist der Radius  $R_K$  des Werkzeugkopfs 17 deutlich größer als der Radius  $R_S$  des Werkzeugschafts 16, insbesondere größer als der doppelte Radius  $R_S$  des Werkzeugschafts 17 bzw. der Durchmesser  $D_S$  desselben. Es gilt also:  
20  $R_K \gg R_S$ .

So zeigt Fig. 2, dass ein Radiusmittelpunkt 20 des Werkzeugkopfs 17 des erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs 15 nicht mehr wie beim Kugelfräser 10 gemäß Fig. 1 in einem Bereich des Werkzeugschafts liegt, sondern vielmehr außerhalb desselben. Die  
25 Position des Radiusmittelpunkts 20 wird durch eine horizontale Koordinate E und eine vertikale Koordinate F im Werkzeugkoordinatensystem bestimmt, wobei ein Ursprung dieses Werkzeugkoordinatensystems im Punkt 19 liegt.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Radius  $R_K$  der Werkzeugspitze 17 zwar in jedem  
30 Fall größer ist als der Radius  $R_S$  des Werkzeugschafts 16, jedoch kleiner als ein kleinster Krümmungsradius der zu fräsenden Freiformoberfläche. Hierdurch wird zum einen sichergestellt, dass sich eine geringe Restzeilung einstellt und damit der Zeilenabstand

beim Fräsen vergrößert und die Fräszeit reduziert wird. Andererseits wird gewährleistet, dass eine kollisionsfreie Bearbeitung des Werkstücks möglich ist.

Das erfindungsgemäße Fräswerkzeug 15 wird erfindungsgemäß zur Herstellung von rotationssymmetrischen, scheibenförmigen oder ringförmigen Bauteilen verwendet. Bei diesen Bauteilen handelt es sich um Rotorscheiben mit integraler Beschaukelung, d.h. um sogenannte Bladed Disks, die auch als Blisks bezeichnet werden. Diese finden Verwendung in Flugzeugtriebwerken.

Weiterhin liegt es im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, ein neues erfindungsgemäßes Verfahren zum Fräsen von Freiformoberflächen an Werkstücken vorzuschlagen. Bei Fräsen von Freiformoberflächen wird so vorgegangen, dass ein Werkstück von dem Fräswerkzeug 15 derart gefräst wird, dass sich die gewünschte Freiformoberfläche ergibt. Das Fräswerkzeug 15 wird hierzu entlang mehrerer definierter Fräsbahnen relativ zum nicht-dargestellten Werkstück bewegt. Erfindungsgemäß wird das Fräswerkzeug 15 gemäß Fig. 2 verwendet.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden dann, wenn ein verwendetes CAM-System Sonderfräser nicht unterstützt, in einem ersten Schritt unter Verwendung des Kugelfräsers 10 gemäß Fig. 1 erste Fräserbahnen erzeugt. Beim Kugelfräser 10 gemäß Fig. 1 entspricht der Radius  $r_K$  des Werkzeugkopfs 12 dem Radius  $r_S$  bzw. dem halben Durchmesser  $d_S$  des Werkzeugschafts 11. Derartige Kugelfräser 10 werden vom CAM-System, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind, in jedem Fall unterstützt. Aus diesen ersten Fräsbahnen werden dann anschließend in einem zweiten Schritt zweite Fräsbahnen für das konkret zu verwendende Fräswerkzeug generiert, dessen Radius  $R_K$  des Werkzeugkopfs 17 größer ist als Radius  $R_S$  des Werkzeugschafts 16 desselben. Bei dem konkret zu verwendende Fräswerkzeug handelt es sich also um den Sonderfräser im Sinne der Erfindung.

Zur Ermittlung der zweiten Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug 15 aus den ersten Fräsbahnen, die unter Verwendung des Kugelfräsers 10 erzeugt wurden, werden Normalenvektoren der zu fräsenden Werkstückoberfläche erzeugt. Die ersten Fräsbahnen bestehen aus einer Vielzahl von Stützpunkten, wobei für jeden Stützpunkt der ersten

Fräsbahnen ein Normalenvektor der zu fräsenden Werkstückoberfläche erzeugt wird. Zur Generierung der zweiten Fräsbahnen für das konkret zu verwendende Fräswerkzeug 15 werden die Stützpunkte der ersten Fräsbahnen relativ zu den korrespondierenden Normalenvektoren verschoben, nämlich in Richtung der Normalenvektoren. Dabei werden  
5 die Stützpunkte um die Differenz aus dem Radius  $r_K$  des Werkzeugkopfs 11 des Kugelfräsers 10 und dem Radius  $R_K$  des Werkzeugkopfs 17 des tatsächlich zu verwendenden, erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs 15 verschoben. Mit anderen Worten ausgedrückt werden demnach die Stützpunkte derart verschoben, dass ein Berührungspunkt des zu verwendenden Fräswerkzeugs 15 auf einer Oberfläche des zu  
10 fräsenden Werkstücks dem Berührungspunkt des Kugelfräsers 10 entspricht und sich immer im Bereich des Radius des Werkzeugkopfs des zu verwendenden Fräswerkzeugs 15 befindet.

Bei dieser Verschiebung der Stützpunkte werden die Koordinaten, welche die Position des  
15 Radiusmittelpunkts 20 des Werkzeugkopfs 17 des erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs 15 beschreiben, berücksichtigt. Wie bereits oben erwähnt, liegt dieser Radiusmittelpunkt 20 des erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs 15 nicht mehr auf Achse 18, sondern ist vielmehr durch die horizontale Koordinate E und um die vertikale Koordinate F definiert. Aus diesen Kenngrößen und den entsprechenden Kenngrößen des Kugelfräsers 10 kann die  
20 Verschiebung der Stützpunkte vorgenommen werden.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren werden demnach vorzugsweise in einem ersten Schritt unter Verwendung eines Kugelfräsers, dessen Radius  $r_K$  des Werkzeugkopfs dem Radius  $r_S$  des Werkzeugschafts entspricht, erste Fräsbahnen erzeugt. Diese ersten  
25 Fräsbahnen dienen als Hilfsfräsbahnen. Im Sinne der Erfindung soll nämlich nicht ein Kugelfräser eingesetzt werden, sondern vielmehr ein erfindungsgemäßes Fräswerkzeug, dessen Radius  $R_K$  des Fräserkopfs größer ist als der Radius  $R_S$  des Fräterschafts, ohne dass jedoch der Werkzeugkopf seitlich über eine äußere Mantelfläche des Werkzeugschafts vorsteht. Es ist selbstverständlich, dass die Hilfsfräsbahnen unter  
30 Verwendung eines Kugelfräsers erzeugt werden, dessen Radius  $r_S$  des Fräterschafts dem Radius  $R_S$  des Fräterschafts des tatsächlich zu verwendenden erfindungsgemäßen Werkzeugs entspricht. Aus diesen Hilfsfräsbahnen werden dann die tatsächlichen Fräsbahnen für das erfindungsgemäße Fräswerkzeug generiert. Dies erfolgt dadurch, dass



die Stützpunkte der Hilfsfräsbahnen in Richtung der Normalenvektoren der zu fräsenden Werkstückoberfläche verschoben werden. Die Verschiebung erfolgt unter Berücksichtigung des Radiuses  $r_s$  bzw. des Durchmessers  $d_s$  des Werkzeugschafts des Kugelfräasers, wobei diese Parameter dem Radius  $R_s$  bzw. dem Durchmesser  $D_s$  des Werkzeugchafts des erfindungsgemäßen, zu verwendenden Fräswerkzeugs entsprechen. Weiterhin erfolgt die Verschiebung der Stützpunkte unter Verwendung des Radiuses  $R_k$  des Werkzeugkopfs des erfindungsgemäßen Fräswerkzeugs und unter Verwendung der Radiusmittelpunkte der Werkzeugköpfe von Kugelfräser und tatsächlich zu verwendenden Fräswerkzeug. Durch eine einfache Differenzbildung der korrespondierenden geometrischen Parameter kann der Betrag der Verschiebung der Stützpunkte bestimmt werden.

Mithilfe der Erfindung ist es erstmals möglich, bei der Fräsbearbeitung komplexer Freiformflächen an Blisks Fräswerkzeuge einzusetzen, deren Werkzeugköpfe einen größeren Radius aufweisen als der Werkzeugschaft des Fräswerkzeugs. Hierdurch kann insgesamt ein größerer Zeilenabstand bei der Fräsbearbeitung eingestellt werden. Die zum Fräsen benötigte Zeit wird verringert. Die Effektivität der Fräsbearbeitung wird gesteigert.

Bezugszeichenliste

	Fräswerkzeug	10
	Werkzeugschaft	11
5	Werkzeugkopf	12
	Achse	13
	Punkt	14
	Fräswerkzeug	15
	Werkzeugschaft	16
10	Werkzeugkopf	17
	Achse	18
	Punkt	19
	Radiusmittelpunkt	20

15

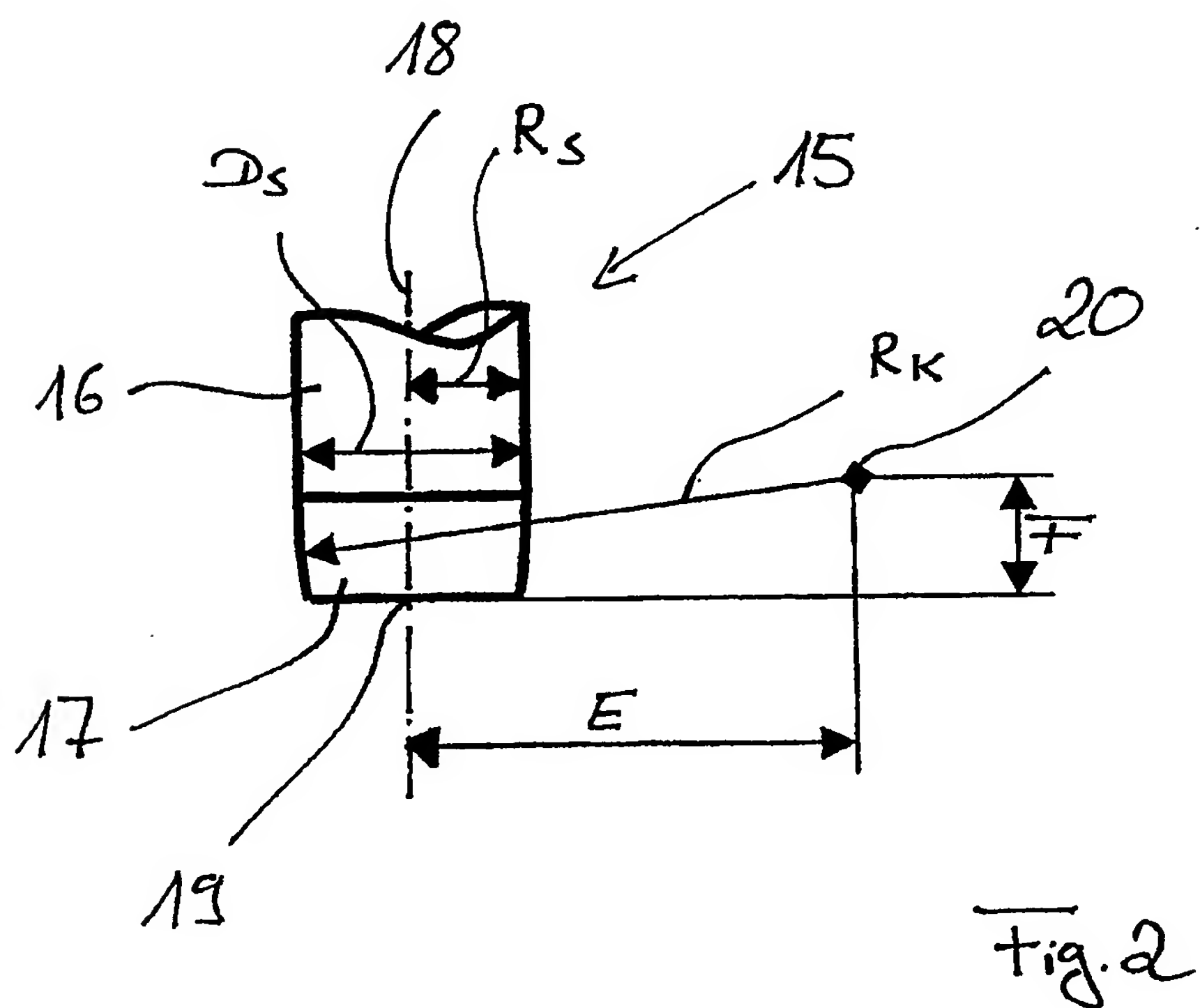
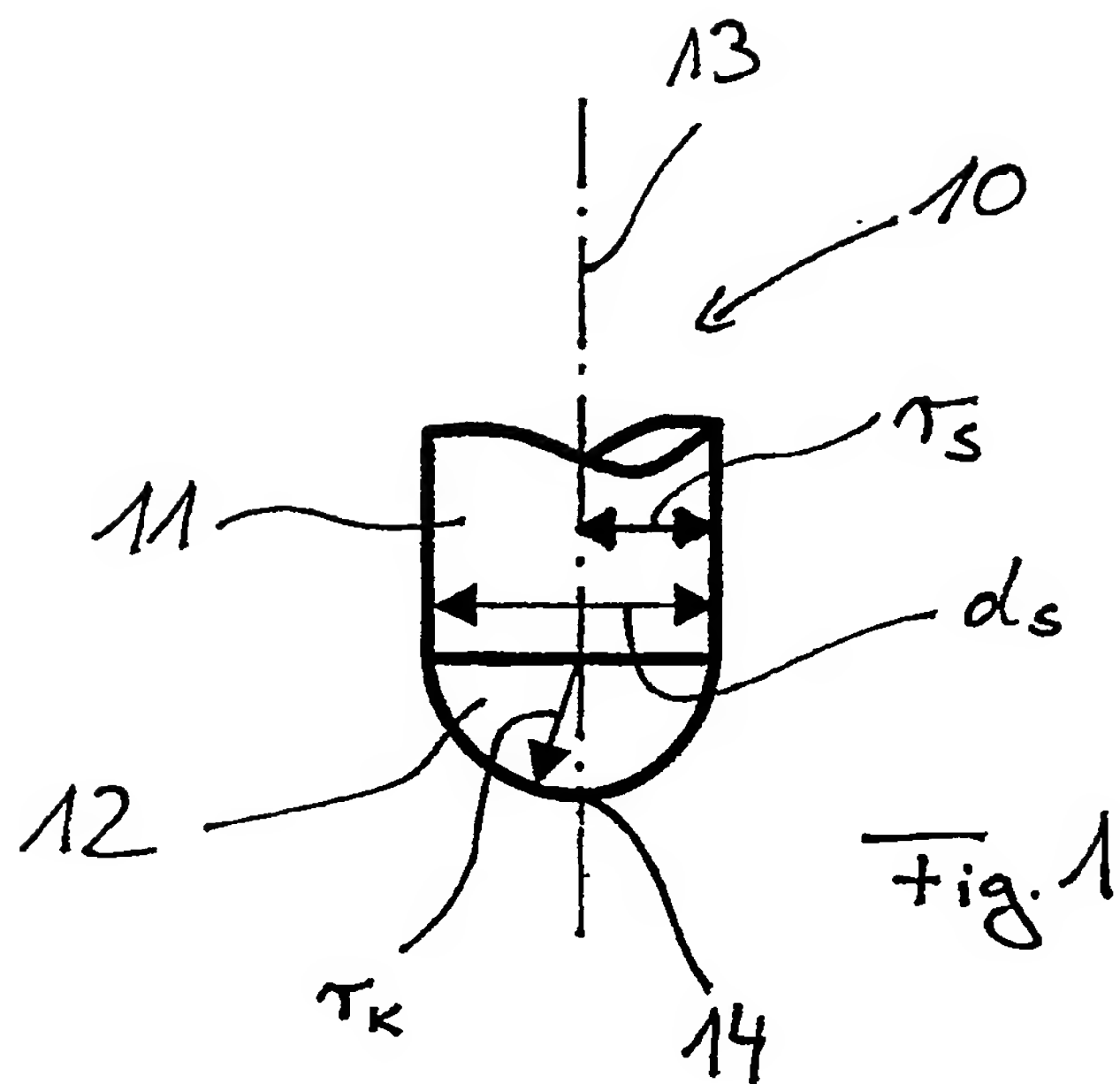
## Patentansprüche

1. Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen an Werkstücken, insbesondere zum 5-Achsfräsen, wobei ein Werkstück von einem Fräswerkzeug (15) derart gefräst wird, dass sich eine gewünschte Freiformfläche ergibt, und wobei das Fräswerkzeug (15) zum Fräsen entlang mindestens einer definierten Fräsbahn relativ zum Werkstück bewegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Fräswerkzeug (15) verwendet wird, dessen Werkzeugkopf (17) einen größeren Radius aufweist als ein Werkzeugschaft (16) des Fräswerkzeugs.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** unter Verwendung eines Kugelfräsers (10), dessen Radius des Werkzeugkopfs dem Radius des Werkzeugschaftes entspricht, erste Fräsbahnen bzw. Hilfsfräsbahnen erzeugt werden, und dass aus diesen ersten Fräsbahnen bzw. Hilfsfräsbahnen zweite Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug (15) generiert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede der ersten Fräsbahnen aus einer Vielzahl von Stützpunkten besteht.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Normalenvektoren der zu fräsenden Werkstückoberfläche erzeugt werden, wobei für jeden Stützpunkt der ersten Fräsbahnen bzw. Hilfsfräsbahnen ein korrespondierender Normalenvektor erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Generierung der zweiten Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug (15) die Stützpunkte der ersten Fräsbahnen relativ zu den korrespondierenden Normalenvektoren verschoben werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stützpunkte um die Differenz aus dem Radius des Werkzeugkopfs des Kugelfräsers (10) und dem Radius des Werkzeugkopfs des zu verwendenden Fräswerkzeugs (15) verschoben werden.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Radius sowie ein Radiusmittelpunkt des Werkzeugkopfs des Kugelfräsers (10) und der Radius sowie ein Radiusmittelpunkt des Werkzeugkopfs des zu verwendenden Fräswerkzeugs (15) in einem Werkzeugkoordinatensystem definiert werden, wobei der Ursprung des Werkzeugkoordinatensystems ein Werkzeugbezugspunkt ist, in welchem sich eine Achse des Fräswerkzeugs mit einem Ende des Werkzeugkopfs schneidet.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Generierung der zweiten Fräsbahnen für das zu verwendende Fräswerkzeug (15) die Stützpunkte um die Differenz aus dem Radius des Kugelfräsers (10) und dem Radius des zu verwendenden Fräswerkzeugs (15) unter Verwendung der Koordinaten der entsprechenden Radiusmittelpunkte verschoben werden.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Fräswerkzeug nach Anspruch 10, 11 oder 12 verwendet wird.
10. Fräswerkzeug zum Fräsen von Freiformflächen an Werkstücken, insbesondere zum 5-Achsfräsen, mit einem Werkzeugschaft (16) und einem Werkzeugkopf (17), wobei der Werkzeugschaft (16) einen Radius und der Werkzeugkopf (17) einen Radius aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Radius des Werkzeugkopfs (17) größer ist als der Radius des Werkzeugschafts (16).
11. Fräswerkzeug nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Radius des Werkzeugkopfs (17) vorzugsweise doppelt so groß ist wie der Radius des Werkzeugschafts (16), jedoch kleiner als ein kleinster Krümmungsradius der zu fräsenden Freiformfläche.
12. Fräswerkzeug nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Werkzeugkopf (17) seitlich nicht über eine Mantelfläche des Werkzeugschafts (16) vorsteht.

13. Verwendung eines Fräswerkzeugs nach Anspruch 10, 11 oder 12 zur Herstellung von rotationssymmetrischen, scheibenförmigen oder ringförmigen Bauteilen, nämlich von Rotorscheiben mit integraler Beschaukelung, d.h. von sogenannten Blisks (Bladed Disks), durch Fräsen.





### Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen.

- 5 Ein Werkstück wird von einem Fräswerkzeug (15) derart gefräst, dass sich eine gewünschte Freiformfläche ergibt, und wobei das Fräswerkzeug (15) zum Fräsen entlang mindestens einer definierten Fräsbahn relativ zum Werkstück bewegt wird.

10 Erfindungsgemäß wird ein Fräswerkzeug (15) verwendet, dessen Werkzeugkopf (17) einen größeren Radius aufweist als ein Werkzeugschaft (16) des Fräswerkzeugs (15).

(Fig.2)

